

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-326383

(43)Date of publication of application : 16.12.1997

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065
C23C 16/50
C23F 4/00
H05H 1/46

(21)Application number : 08-142566

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 05.06.1996

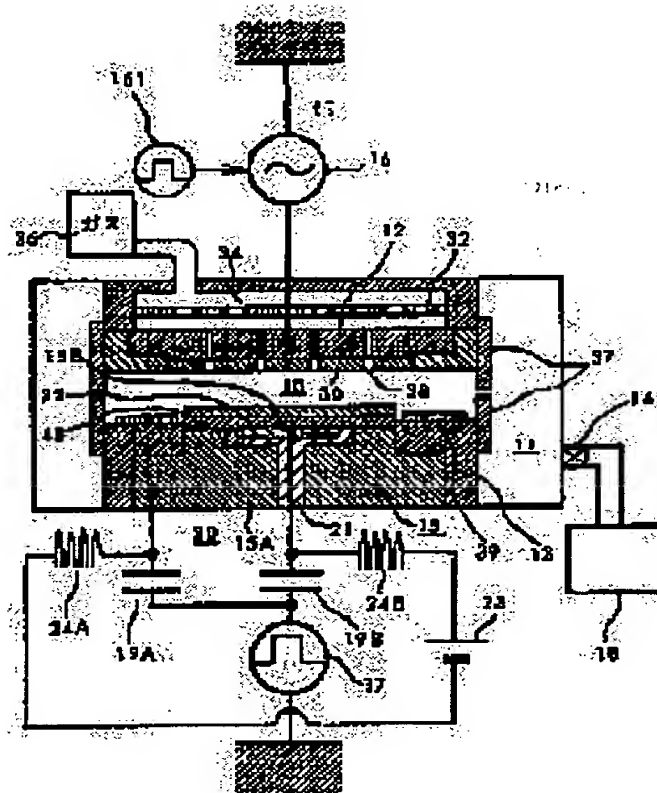
(72)Inventor : KAJI TETSUNORI
OTSUBO TORU
KAZUMI HIDEYUKI
WATANABE KATSUYA

(54) PLASMA PROCESSING SYSTEM AND PLASMA PROCESSING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To control the generation quantity and the quality of ions or radicals required for surface reaction and to enhance the selectivity and the like of plasma processing by obtaining a narrow ion energy distribution with high controllability.

SOLUTION: The plasma processing system comprises a vacuum processing chamber 10, a stage 15 for arranging a sample to be processed in the vacuum processing chamber, and a plasma generation means including a high frequency power supply 16. The plasma processing system further comprises a pair of parallel plate electrodes 12, 15, means 20, 22, 23 for holding a sample 40 to the sample stage through electrostatic attraction, and means 17 for applying a bias voltage to the sample. Metastable atoms generated in a plasma generation chamber for generating metastable atoms are injected into the vacuum processing chamber 10 and applied with the high frequency power supply 16 of 10-500MHz while reducing the pressure in the vacuum processing chamber 10 to 5-50mTorr by means of a vacuum pump 18.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.09.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 19.06.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3319285

[Date of registration] 21.06.2002
[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2001-12487
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 18.07.2001
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P) (12) 公 開 特 許 公 報 (A) (11)特許出願公開番号
特開平9-326383
(43)公開日 平成9年(1997)12月16日

(51)Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L	21/3065		H 0 1 L 21/302	B
C 2 3 C	16/50		C 2 3 C 16/50	
C 2 3 F	4/00		C 2 3 F 4/00	A
H 0 5 H	1/46		H 0 5 H 1/46	M

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 18 頁)

(21)出願番号	特願平8-142566	(71)出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(22)出願日	平成8年(1996)6月5日	(72)発明者	加治 哲徳 山口県下松市大字東豊井794番地 株式会 社日立製作所笠戸工場内
		(72)発明者	大坪 徹 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日 立製作所機械研究所内
		(72)発明者	数見 秀之 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株 式会社日立製作所日立研究所内
		(74)代理人	弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

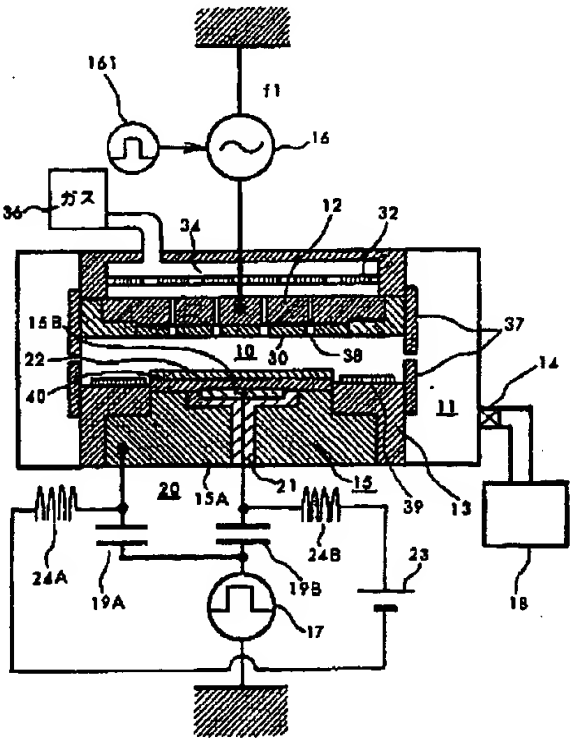
(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57)【要約】 (修正有)

【課題】表面反応に必要なイオンやラジカル生成の量と質を制御するとともに、制御性良く、狭いイオンエネルギー分布を得て、プラズマ処理の選択性等を向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供する。

【解決手段】真空処理室10と、この真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台15と、高周波電源16を含むプラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、一对の平行平板電極12、15と、試料40を静電吸着力によって試料台に保持する静電吸着手段20、22、23と、試料にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段17とを備え、準安定原子発生用プラズマ発生室で発生させた準安定原子を真空処理室10に注入し、高周波電源16として10MHz〜500MHzの高周波電源を印加するとともに、真空ポンプ18で真空処理室10を5mTorr〜50mTorrに減圧する。

図 2



(2)

特開平9-326383

【特許請求の範囲】

【請求項1】真空処理室と、
該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、
前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、
前記試料にバイアス電圧を印加するバイアス印加手段と、
前記真空処理室内もしくは外にプラズマを発生させる第一のプラズマ生成手段と、
前記真空処理室内にプラズマを発生させる第二のプラズマ生成手段とを具備したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】請求項1記載のプラズマ処理装置において、
前記第一のプラズマ生成手段の瞬時供給電力が、前記第二のプラズマ生成手段の瞬時供給電力の2倍以上でかつ100倍以下であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項3】請求項1記載のプラズマ処理装置において、
前記第一のプラズマ生成手段の供給電力源と、前記第二のプラズマ生成手段の供給電力源を、パルス変調された一つの高周波電源とすることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項4】請求項1記載のプラズマ処理装置において、
前記第一のプラズマを発生させる部分の圧力を、前記第二のプラズマを発生させる圧力に比べ、2倍以上に設定することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項5】請求項1記載のプラズマ処理装置において、
前記試料にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段を備え、前記プラズマ生成源として10MHz～500MHzの高周波電圧を印加するとともに、前記真空処理室を5mTorr～50mTorrに減圧するように構成したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項6】請求項5記載のプラズマ処理装置において、
一方の電極に試料が配置される一对の対向する電極と、
該試料のエッチング時に前記一方の電極に、250V～800Vのパルス振幅と0.05～0.4のデューティ比を有するパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段とを備え、前記試料中の絶縁膜を前記真空処理室中のプラズマを用いて処理するように構成したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項7】真空処理室内に設置された試料台に試料を配置するステップと、該配置され試料を静電吸着力によって前記試料台に保持するステップと、ガスを導入するステップと、該導入されたガスをプラズマ化する第一の

プラズマ化のステップと、少なくとも該第一のプラズマ化のステップでプラズマ化されたガスを含んで前記試料が配置された雰囲気にてさらにプラズマ化する第二のプラズマ化のステップと、前記プラズマにより前記試料をエッチングするステップと、該エッチング時に、試料にバイアス電圧を印加するステップとを有する事を特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項8】請求項7記載のプラズマ処理方法において、
前記第一のプラズマ化のステップの瞬時供給電力が、前記第二のプラズマ化のステップの瞬時供給電力の2倍以上でかつ100倍以下で用いることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項9】請求項7記載のプラズマ処理方法において、
前記第一のプラズマ化のステップの供給電力源と、前記第二のプラズマ化のステップの供給電力源を、パルス変調された一つの高周波電源を用いることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項10】請求項7記載のプラズマ処理方法において、
前記第一のプラズマを発生させる部分の圧力を、前記第二のプラズマを発生させる圧力の2倍以上にして使用することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項11】請求項7記載のプラズマ処理方法において、
前記試料にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加ステップを備え、前記プラズマ生成源として10MHz～500MHzの高周波電圧を印加するとともに、前記真空処理室を5mTorr～50mTorrに減圧することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項12】請求項11記載のプラズマ処理方法において、
一方の電極に試料が配置される一对の対向する電極と、
該試料のエッチング時に前記一方の電極に、250V～800Vのパルス振幅と0.05～0.4のデューティ比を有するパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加ステップとを備え、前記試料中の絶縁膜を前記真空処理室内のプラズマを用いて処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に係り、特に半導体製造工程における微細なパターンを形成するのに好適なプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】特開平6-267900号公報では、高周波停止時間を10マイクロ秒、繰り返し周波数を10kHz以上でON-OFFパルス変調された高周波電源

(3)

特開平9-326383

を用い、解離反応やイオン温度を制御し、エッチングを高精度化することが記載されている。この公報では、 N_2 ガスプラズマでのパルス停止時間とプラズマ密度特性が記載されており、パルスの停止時間であるインターバル時間は、パルス密度を低下させないことも考慮し、10 μ s以下が最適であることが記載されている。また、一方、CHF₃プラズマでパルス停止時間を10 μ sに固定した状態でパルス幅を低下させると、好ましくないFラジカルと好ましいCF₂ラジカルとの比：F/CF₂が低下し、酸化膜エッチングにおいて下地シリコンとの選択比が改善される。しかし、この例では、パルスの停止時間を10 μ s以上にすると、プラズマ密度が低下し、それとともにエッチング速度が低下するため、好ましくないことが示されている。

【0003】また、プラズマを用い、半導体のエッチング処理や成膜処理等を行う技術分野において、被処理物（例えば半導体ウェハ基板、以下試料と略する。）を配置する試料台に対して、プラズマ中のイオンを加速するためのバイアス用高周波電源と、静電吸着力によって試料を試料台に保持させる静電吸着膜とを備えた処理装置として、USP5,320,982号明細書等に記載のものがあ

る。【0004】このUSP5,320,982号明細書記載の装置は、マイクロ波でプラズマを発生させ、静電吸着力によって試料を試料台に保持させると共に試料と試料台との間に伝熱ガスを介在させて試料の温度制御を行いながら、正弦波出力の高周波電源をバイアス電源として、該電源を試料台に接続して試料に入射するイオンエネルギーを制御するものである。

【0005】また、特開昭62-280378号公報では、プラズマ電極間の電界強度を一定化するパルス状のイオン制御バイアス波形を発生させ試料台に印加することにより、試料に入射するイオンエネルギーの分布幅を狭くでき、エッチングの加工寸法精度や被処理膜と下地材とのエッチング速度比を数倍に上げることが可能となることが記載されている。

【0006】また、特開平6-61182号公報では、電子サイクロトロン共鳴を利用してプラズマを発生させ、試料に、パルスデューティが0.1%程度以上の幅のパルスバイアスを印加し、ノッチの発生を防止することが記載されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】図1にアルゴンガスを比較的高いガス圧力（1 Torr）で直流放電を発生させた時の、電子のエネルギー分布（以下EEDFと略す）を実線で、またマックスウエル分布を点線で示す。通常

の場合がほとんどである。従って、ガスの解離のみを考えれば、15 eV以上の高エネルギーの電子は不要であり、解離を必要以上に進めすぎて、細かすぎるラジカル、分子あるいは原子にまで解離させるため悪影響の方が大きい。上記図1の実線で示すように、ガス圧力の高い領域では、電子とガスとの衝突が頻繁に生じるため、15 eV程度以上の高エネルギーの電子の数は、少ない。このため上記の悪影響は、比較的強く押さえることが出来る。しかし、半導体製造工程における、近年のパターンの高精細化に対応するには、処理圧力は、50 mTorr程度以下にする必要がでてきた。この低圧力領域では、EEDFは、図1の点線で示したマックスウエル分布に近づき、15 eV程度以上の高エネルギーの電子の数が増え、電離が盛んとなりイオンが増加しプラズマ密度も増えるが、上記の悪影響が、特に酸化膜エッチング処理で顕著になってきている。この傾向は、処理の高速化をはかるため、高電力を注入し高密度プラズマにて試料を処理するときに、更に顕著となっている。

【0008】すなわち、低圧力-高密度-過剰解離の防止の3つを総て満たすプラズマは、得られていないのが現状である。

【0009】前記従来例で述べた特開平-267900号公報では、停止時間が10 μ s以下でかつ繰返し周波数10 kHz以上でON-OFFされた高周波電界を印加することにより、過剰解離を防いでいるが、まだ不十分である。この方法では、過剰解離の防止を十分に行おうとすると、停止時間を10 μ s以上にすることがあるが、停止時間の増大とともに、処理速度が大幅に低下し実用的ではなくなる大きな欠点がある。

【0010】また、特開昭62-280378号公報や特開平6-61182号公報に記載のパルスバイアス電源方式は、試料台電極と試料との間に静電吸着用誘電体層を使用して試料にパルスバイアスを印加する場合の検討がなされておらず、静電吸着方式にそのまま適用すると静電吸着膜の両端間に発生する電圧の変化によりイオンエネルギー分布が広がるため、試料に十分な温度制御を行いながら、必要とする微細パターンの処理に対処することができない欠点があった。

【0011】また、USP5,320,982号明細書に記載された従来の正弦波出力バイアス電源方式では、周波数が高くなると、シース部のインピーダンスがプラズマ自身のインピーダンスに近づくか、それ以下になるため、バイアス電源により不要なプラズマが生じイオンの加速に有効に使われなくなって、プラズマ分布の悪化やプラズマで発生する粒子種の変化をきたしたりバイアス電源によるイオンエネルギーの制御性が失われる等の欠点があった。

【0012】本発明の目的は、このような従来技術の問題点を解決するためになされたもので、イオン、ラジカルの生成量や質を制御し、試料の静電吸着により温度

(4)

特開平9-326383

制御性を改善し、必要とする微細パターンの処理を精度良く高速で安定して行うプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することにある。

【0013】本発明の他の目的は、イオンとラジカル生成の量や質を制御し、狭いイオンエネルギー分布を得て高速で安定して制御性良くプラズマ処理の選択性等を向上できるプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することにある。

【0014】本発明の他の目的は、イオンとラジカル生成の量や質を制御し、比較的低いガス圧下において試料を処理することにより、微細パターンの精密な加工が容易で、かつ、プラズマ処理の選択比や速度等を向上させた、プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することにある。

【0015】本発明の他の目的は、イオンとラジカル生成の量や質を制御し、試料中の絶縁膜（例えばSiO₂、SiN、BPSG等）に対するプラズマ処理の選択性や速度等を向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明の一つは、プラズマ中に比較的微量存在する準安定原子の種類や数によりプラズマの生成特性が大きく変化する性質を有効に活用し、イオンとラジカルの量と質をかなり独立に制御している。つまり、準安定原子を生成するためには、8～20 eVのかなり高いエネルギーを必要とするが、準安定原子が存在している状態では5 eV程度以下の低いエネルギーで容易に電離が起きる。準安定原子を生成する場所あるいはタイミングと、準安定原子が多数存在する状態で比較的低エネルギーのプラズマを生成する場所あるいはタイミングとを異ならせ別々に設定することにより、イオンとラジカルの量と質の制御性を大幅に改善することができる。

【0017】すなわち、瞬時電力の大きい高周波源で強いプラズマを発生させる第一のプラズマ生成手段により多くの準安定原子を発生させ、その準安定原子を真空処理室内に存在させた状態で、瞬時電力の小さい高周波源で比較的弱いプラズマを発生させる第二のプラズマ生成手段によりイオンと過剰に解離していないラジカルを発生させる。

【0018】このよう構成することにより、50 mTorr程度以下の低いガス圧で高密度のプラズマにおいても、図1の実線で示したものと類似もしくはさらに電子温度が低く、15 eV以上の高エネルギーの電子が大幅に少ないEEDFを得ることができる。

【0019】すなわち、従来のプラズマでは達せられなかった、低ガス圧－高密度－過剰解離の防止が可能となった。ここで、イオンの数は、主に第一のプラズマ生成手段による準安定原子の数で決定され、一方、ラジカルの数や質は、第二のプラズマ生成手段により主に決定さ

れる。第一のプラズマを生成する場所は、第二のプラズマを生成する場所と異なる場合と、第二のプラズマを生成する場所と同じ場所だがプラズマを発生させるタイミングが異なる場合と、いずれの場合も本発明を適用することができる。

【0020】上記により生成されたイオンやラジカルを用い高性能の処理性能を得るには、更に、試料に入射するイオンのエネルギーを所定の大きさでかつエネルギーの分布幅を狭くする必要がある。このためには、パルス状のバイアス電圧を試料台に印加するのが好ましい。また、試料の温度制御性を改善するには、試料を試料台に静電気で吸着し、数ミクロンから数十ミクロンの厚さで数Torrから数十Torrのガス層を通して熱の伝導を行う様に構成する。

【0021】本発明の特徴は、真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、前記試料にバイアス電圧を印加するバイアス印加手段と、前記真空処理室の内もしくは外にプラズマを発生させる第一のプラズマ生成手段と、前記真空処理室内にプラズマを発生させる第二のプラズマ生成手段とを具備し、イオンとラジカル生成の量や質を制御していることにある。

【0022】本発明の特徴は、真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、プラズマ生成手段とを有するプラズマ処理装置であって、前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、前記試料にバイアス電圧を印加するバイアス印加手段と、前記真空処理室の内もしくは外にプラズマを発生させる第一のプラズマ生成手段と、前記真空処理室内にプラズマを発生させる第二のプラズマ生成手段とを具備し、前記第一のプラズマ生成手段の瞬時電力が、前記第二のプラズマ生成手段の瞬時電力の2倍以上かつ100倍以下に設定し、イオンとラジカル生成の量や質を制御していることにある。

【0023】本発明の他の特徴は、真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、前記真空処理室の内もしくは外にプラズマを発生させる第一のプラズマ生成手段と、前記真空処理室内にプラズマを発生させる第二のプラズマ生成手段と、前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、前記試料にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段とを備え、イオンとラジカル生成の量や質を制御していることにある。

【0024】本発明の他の特徴は、真空処理室と、該真空処理室内で処理される試料を配置するための試料台と、前記真空処理室の内もしくは外にプラズマを発生させる第一のプラズマ生成手段と、前記真空処理室内にプラズマを発生させる第二のプラズマ生成手段と、前記試

(5)

特開平9-326383

料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、前記試料にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段とを備え、イオンとラジカル生成の量や質をに制御し、前記プラズマ生成源として10MHz～500MHzの高周波電圧を印加するとともに、前記真空処理室を5mTorr～50mTorrに減圧するように構成したことにある。

【0025】本発明の他の特徴は、真空処理室と、該真空処理室で処理される試料を配置するための試料台と、前記真空処理室の内もしくは外にプラズマを発生させる第一のプラズマ生成手段と、前記真空処理室内にプラズマを発生させる第二のプラズマ生成手段と、前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、前記試料にパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段とを備え、前記パルスバイアス電圧の印加に伴い前記静電吸着手段の静電吸着容量に対応して発生する電圧の変化を抑制する電圧抑制手段とを設け、イオンとラジカル生成の量や質を制御していることにある。

【0026】本発明の他の特徴は、真空処理室と、該真空処理室で処理される試料を配置するための試料台と、前記真空処理室の内もしくは外にプラズマを発生させる第一のプラズマ生成手段と、前記真空処理室内にプラズマを発生させる第二のプラズマ生成手段と、前記試料を静電吸着力によって前記試料台に保持する静電吸着手段と、一方の電極に試料が配置される一対の対向する電極と、該試料のエッチング時に前記一方の電極に、250V～800Vのパルス振幅と0.05～0.4のデューティ比を有するパルスバイアス電圧を印加するパルスバイアス印加手段とを備え、イオンとラジカルの量や質を独立に制御し、前記試料中の絶縁膜（例えばSiO₂, SiN, BPSG等）を前記プラズマを用いて処理することにある。

【0027】本発明の他の特徴は、真空処理室内に設置された試料台に試料を配置するステップと、該配置された試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップと、ガスを導入するステップと、該導入されたガスをプラズマ化する第一のプラズマ化のステップと、少なくとも該プラズマ化されたガスを含んで前記試料が配置された雰囲気にてさらにプラズマ化する第二のプラズマ化のステップと、前記プラズマにより前記試料をエッチングするステップと、該エッチング時に、試料台の電極にバイアス電圧を印加するステップからなり、イオンとラジカル生成の量や質を制御し反応の高選択化を図るとともに、処理の異方性と処理の高速化を兼備したプラズマ処理方法にある。

【0028】本発明の他の特徴は、前記第一のプラズマ化のステップの供給電力の瞬時値が、前記第二のプラズマ化のステップの供給電力の瞬時値の2倍以上でかつ100倍以下に設定し、イオンとラジカル生成の量や質を

制御し反応の高選択化を図るとともに、処理の異方性と処理の高速化を兼備したプラズマ処理方法にある。

【0029】本発明の他の特徴は、真空処理室に設けられた対向する一対の電極の一方に試料を配置するステップと、該試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップと、ガスを導入するステップと、該導入されたガスをプラズマ化する第一のプラズマ化のステップと、少なくとも該プラズマ化されたガスを含んで前記試料が配置された雰囲気にて10MHz～500MHzの高周波電圧を印加しさらにプラズマ化する第二のプラズマ化のステップと、前記プラズマにより前記試料をエッチングするステップと、該エッチング時に、試料台の電極にバイアス電圧を印加するステップと、前記雰囲気を、5mTorr～50mTorrに減圧排気するステップとからなり、イオンとラジカル生成の量や質を制御し反応の高選択化を図るとともに、処理の異方性と処理の高速化を兼備したプラズマ処理方法にある。

【0030】本発明の他の特徴は、対向する電極の一方の電極に試料を配置するステップと、該配置された試料を静電吸着力によって前記電極に保持するステップと、ガスを導入するステップと、該導入されたガスをプラズマ化する第一のプラズマ化のステップと、少なくとも該プラズマ化されたガスを含んで前記試料が配置された雰囲気にてさらにプラズマ化する第二のプラズマ化のステップと、前記プラズマにより前記試料をエッチングするステップと、該エッチング時に、試料台の電極にバイアス電圧を印加するステップからなり、該エッチング時に前記試料台電極に、250V～800Vのパルス振幅と0.05～0.4のデューティ比を有するパルスバイアス電圧を印加するステップからなり、イオンとラジカル生成の量や質を制御し、前記試料中の絶縁膜（例えばSiO₂, SiN, BPSG等）をプラズマ処理することにある。

【0031】本発明の他の特徴は、前記プラズマ処理装置において、第一のプラズマ化手段と、第二のプラズマ化手段とを、パルス変調された一つの高周波電源のそれぞれ高出力のタイミング部分と低出力のタイミング部分とに対応させて、イオンとラジカル生成の量や質を制御し反応の高精度化を図るとともに、処理の異方性と処理の高速化を兼備したプラズマ処理装置にある。

【0032】本発明によれば、イオンとラジカル生成の量や質を制御し反応の高精度化を図るとともに、静電吸着用誘電体層を有する静電吸着手段を備えた試料台に所定の特性のパルス状バイアス電源を印加することにより、試料の温度制御性を十分に行ないつつ、必要とする微細パターンの処理を異方性よく高速に安定して行うことが出来る。

【0033】さらに、イオンとラジカル生成の量や質を制御し、狭いイオンエネルギー分布を得て、安定して制御性良くプラズマ処理の選択性等を向上させることがで

(6)

特開平9-326383

きる。

【0034】また、本発明によれば、イオンとラジカル生成の量や質を制御し、パルスバイアス電圧の印加に伴い静電吸着手段の静電吸着容量に対応して発生する電圧の変化を抑制する電圧抑制手段として、パルス一周期中の静電吸着により誘電体層の両端に加わる電圧変化が、パルスバイアス電圧の大きさの $1/2$ 以下となるように構成する。具体的には、下部電極の表面に設けられた誘電体の静電チャック膜の膜厚を薄くしたり、誘電体を比誘電率の大きい材料とする。あるいはまた、パルスバイアス電圧の周期を短くして誘電体層の両端に加わる電圧の上昇を抑制する方法を採用しても良い。

【0035】また、本発明によれば、イオンとラジカル生成の量や質を制御し、試料のエッチング時に前記一方の電極に、 $250\text{V}\sim 800\text{V}$ のパルス振幅と $0.05\sim 0.4$ のデューティ比を有するパルスバイアス電圧を印加することにより、試料中の絶縁膜（例えば SiO_2 、 SiN 、 BPSG 等）に対するプラズマ処理の選択性等を向上させることができる。

【0036】さらに、本発明の他の特徴によれば、イオンとラジカル生成の量や質を制御し、プラズマ発生用の高周波電源として、 $10\text{MHz}\sim 500\text{MHz}$ の高周波電圧を用い、処理室内のガス圧力を、 $5\text{mTorr}\sim 50\text{mTorr}$ の低圧としている。これにより、安定したプラズマが得られる。また、このような高周波電圧を用いることによりガスプラズマの電離がよくなり、試料加工時の選択比制御が良くなるとともに、比較的低いイオンエネルギーで高速の処理が得られるため、試料が受けるダメージも低く押さえる事が出来る。

【0037】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施例を説明する。まず図2に、本発明を対向する電極型のプラズマエッチング装置へ適用した第一の実施例を示す。

【0038】図2において、真空容器としての処理室10は、上部電極12と下部電極15とから成る一対の対向する電極を備えている。平行平板電極12、15の間隙は、 $10\text{mm}\sim 50\text{mm}$ 程度とするのが望ましい。上部電極12には、高周波エネルギーを供給する高周波電源16が、高周波電源変調信号源161を介して接続されている。上部電極12の下側表面には、シリコン、カーボンもしくは SiC からなるフッ素や酸素の除去板としての上部電極カバー30が設けられている。また、上部電極12の上部にはガスを所望の分布に拡散するガス拡散板32を備えたガス導入室34が設けられている。処理室10には、ガス供給部36からガス導入室34のガス拡散板32、上部電極12及び上部電極カバー30に設けられた孔38を介して、試料のエッチング等の処理に必要なガスが供給される。外室11は、外室にバルブ14を介して接続された真空ポンプ18により真空排気され、処理室10が試料の処理圧力に調整される。処理室

10の周囲には放電止じ込め用リング37が設けられている。

【0039】なお、本発明における平行平板電極12、15は、相対向する一対の電極があれば良く、プラズマ生成特性等の要求から平行平板電極12、15が凹面あるいは凸面を持つものであっても良い。

【0040】試料40を保持する下部電極15は、2極式の静電チャック20を備えた構成となっている。すなわち、下部電極15は、外側の第1下部電極15Aと、その内側上方に絶縁体21を介して配置された第2下部電極15Bによって構成され、第1、第2両下部電極の上表面に静電吸着用誘電体層（以下、静電吸着膜と略称する）22が設けられている。第1、第2両下部電極間には、高周波成分カット用のコイル24A、24Bを介して直流電源23が接続されており、第2下部電極15B側が正になるようにして両下部電極間に直流電圧を印加する。これにより、静電吸着膜22を介して試料40と両下部電極間に作用するクーロン力により、試料40が下部電極15上に吸着、保持される。静電吸着膜22としては、例えば、酸化アルミニウム、酸化アルミニウムにチタン酸化物を混合したものなどの誘電体を使用することができる。また、電源23としては、数 100V の直流電源を用いる。

【0041】また、下部電極15（15A、15B）には、 $20\text{V}\sim 800\text{V}$ の正のパルスバイアスを供給するパルスバイアス電源17が、DC成分をカットするブロッキングコンデンサ19A、19Bを介してそれぞれ接続されている。

【0042】エッチング処理を行う場合、処理の対象物である試料40は、処理室10の下部電極15の上に載置され、静電チャック20により吸着される。一方、ガス供給部36からガス導入室34を介して、試料40のエッチング処理に必要なガスが処理室10に供給される。外室11は真空ポンプ18により真空排気され、処理室10が試料の処理圧力、例えば $5\text{mTorr}\sim 50\text{mTorr}$ になるように減圧排気される。次に、高周波電源16より $10\text{MHz}\sim 500\text{MHz}$ 、望ましくは $30\text{MHz}\sim 200\text{MHz}$ の高周波電力を出力して、処理室10の処理ガスをプラズマ化する。他方、下部電極15に、パルスバイアス電源17から電圧 $20\text{V}\sim 800\text{V}$ で周期が $0.1\mu\text{s}\sim 10\mu\text{s}$ 、好ましくは、 $0.2\mu\text{s}\sim 5\mu\text{s}$ でパルス幅が $0.05\mu\text{s}\sim 0.5\mu\text{s}$ の正のパルスバイアスを印加し、試料に入射する電子やイオンのエネルギーを制御して試料40に対する所定のエッチング処理を行う。

【0043】なお、高周波電源16は、高周波電源変調信号源161により、パルス幅 $1\sim 50\mu\text{s}$ 、パルス周期 $20\mu\text{s}\sim 1\text{ms}$ 、パルスデューティ比（パルス幅／パルス周期）として $1/3\sim 1/50$ でパルス変調されており、パルス幅部分の瞬時電力をその他のタイミング部分の瞬時電力の2倍～100倍の強さで加え、パルス幅

(7)

特開平9-326383

の部分で準安定原子を効率良く生成させる。一方前記のその他のタイミング部分では、前記準安定原子の存在のもとに比較的低い瞬時電力の高周波電力を印加し電離の促進を図り高密度のプラズマを得るとともに、15 eV以上の高いエネルギーの電子の生成を押さえて処理ガスの過剰解離を阻止し、プラズマ処理に望ましい比較的低い10 eV程度以下の電子エネルギーでの解離を促進させる。なお、瞬時電力の大きいパルス幅部分においては高いエネルギーの電子が発生するが、高いエネルギーの電子は、数 μ sで消滅するため、パルスデューティ比を1/3以下、好ましくは1/5以下の低い値にし、パルス周期を20 μ s以上することによりその影響は小さくなる。また、準安定原子は、その寿命が長く、衝突による消滅を考慮しても、数十 μ s～数百 μ sの期間は存在を続ける。前記のその他のタイミング部分では、この準安定原子の存在により5 eV程度以下の比較的低いエネルギーの電子によっても効率良く電離が起きるので、高密度のプラズマが高エネルギー電子の存在なしで維持される。上記のその他のタイミング部分の瞬時電力を変化させることにより、表面反応を起こすラジカルの数と解離の程度を制御する。一方、上記パルス幅部分の瞬時電力を変化することにより、主にイオンの数を制御する。好ましくは、パルス幅部分の瞬時電力としては、その他のタイミング部分の瞬時電力の2倍～100倍、好ましくは5倍～20倍程度の強さで加え、パルス幅の部分で準安定原子を効率良く生成させるとともに、その他のタイミング部分における過剰解離の防止と必要なラジカル数の確保を行う。

【0044】エッチングガスは、ガス拡散板32で所望の分布にされた後、上部電極12及び上部電極カバー30に明けられた孔38を通して処理室10に注入される。

【0045】また上部電極カバー30には、カーボンやシリコンあるいはこれらを含むものを用い、フッ素や酸素成分を除去してレジストやシリコン等の下地との選択比を向上させる。

【0046】絶縁膜（たとえばSiO₂、BPSG等）をエッチング処理する場合のガス種の例としては、希ガス：200ccm、C₄F₈：10ccm、ガス圧：20mTorrで、希ガス（ヘリウム、ネオン、アルゴン、キセノン等）の準安定原子を活用し、希ガス自身の電離を促進する場合や；希ガス1：200ccm、希ガス2：20ccm、C₄F₈：10ccm、ガス圧20mTorrで、希ガス1（ヘリウム、ネオン、等）の準安定原子を活用してそのエネルギー準位より低い電離準位を持つ希ガス2（アルゴン、クリプトン、キセノン等）の電離を促進する場合等がある。このようにして、高エネルギーの電子を少なくすることにより、C₄F₈は過剰の解離が防止され、絶縁膜処理に好都合のCF₂を多量に生成できる。希ガスとC₄F₈ガスとの比を変更することに

より、イオンとラジカルとの量の比を変化することができる。選択性等の特性をさらに改善するために、水素成分を含むガス（CHF₃、CH₂F₂、CH₃F、CH₄、CH₃OH等）を加えたりしてもよい。

【0047】処理室10の周囲は、放電止じ込め用リング37によってプラズマを試料40の周辺に極在化させることにより、プラズマ密度の向上を図ると共に、放電止じ込め用リング37より外の部分への不要なデポ物の付着を最小とさせる。

【0048】なお、放電止じ込め用リング37としては、石英等の絶縁体を用いるのがよい。但し、カーボンやシリコンあるいはSiC等の半導体や導電材を用い、高周波電源に接続しイオンによるスパッタを生じさせると、リング37へのデポ付着を低減すると共にフッ素や酸素の除去効果も持たせることができる。

【0049】なお、試料40の周辺の絶縁体13上に、カーボンやシリコンあるいはこれらを含むサセプタカバー39を設けると、フッ素や酸素を除去出来るので、選択比の向上に役立つ。

【0050】また、直流電源23の電位により、誘電体の静電吸着膜22を挟んで下部電極15（15A、15B）と試料40を介してして静電吸着回路が形成される。この状態で試料40は静電気力により下部電極15に係止、保持される。静電気力により係止された試料40の裏面には、ヘリウム、窒素、アルゴン等の冷却ガスが供給される。冷却ガスは、下部電極15の凹部に充填されるが、その圧力は、数トルから数10トルの範囲とする。なお、静電吸着力は、ギャップが設けられた凹部の間では、ほとんどゼロであり、下部電極15の凸部においてのみ静電吸着力が発生しているとみなせる。しかし、後で述べるように、直流電源23に電圧を適切に設定して、冷却ガスの圧力に十分耐えることのできる吸着力を設定することができるので、冷却ガスにより試料40が動いたり飛ばされたりすることはない。

【0051】試料の微細加工性を向上させるには、プラズマ発生用高周波電源16としてより高い周波数のものを用い、低ガス圧領域での放電の安定化を計るのがよい。本発明では、処理室10における試料の処理圧力を5mTorr～50mTorrとしている。処理室10内のガス圧力を50mTorr以下の低圧にすることにより、シース中のイオンの衝突が少なくなるので、試料40の処理に際して、イオンの方向性が増し垂直な微細加工が可能になった。なお、5mTorr以下では、同じ処理速度を得るには、排気装置や高周波電源が大型化すると共に、電子温度の上昇による必要以上の解離が生じ、特性が劣化する傾向がある。

【0052】一般に、平行平板電極を用いたプラズマ発生用の電源の周波数と安定的に放電が行われる最低のガス圧力との間には、電源の周波数が高くなるほど、電極間距離が大きくなるほど、安定放電最低ガス圧が低下す

(8)

特開平9-326383

るという関係がある。周囲の壁や放電閉込めリング37へのデボ等の悪影響を避け、上部電極カバー30やサセプタカバー39や試料中のレジスト等によるフッ素や酸素を除去する効果を有効に機能させるために、最高ガス圧50mTorr時の平均自由行程の30倍以下に対応して、電極間距離を50mm程度以下とするのが望ましい。また、電極間距離として、最高ガス圧(50mTorr)時の平均自由行程の2~4倍(3mm~6mm)程度以上でないと、安定な放電が困難となる。

【0053】図2に示す本発明の一実施例では、プラズマ発生用高周波電源16として、10MHz~500MHz、望ましくは30MHz~200MHzの高周波電力を用いるため、処理室内のガス圧力を、5mTorr~50mTorrの低圧にしても、安定したプラズマが得られ、微細加工性を向上させることができる。また、このような高周波電力を用いることによりガスプラズマの解離が良くなり、試料加工時の選択比制御が良くなる。

【0054】ところで、静電吸着膜22は、イオンに対するパルスバイアスの作用を阻害する様に作用する。本発明では、パルスバイアスの印加に伴い静電吸着膜22の両端間に発生する電圧の上昇を抑制し、パルスバイアスの効果を高めるために、電圧抑制手段を設けたことに1つの特徴がある。

【0055】電圧抑制手段の一例としては、パルスバイアスの印加に伴い静電吸着膜の両端間に生ずるバイアス電圧の一周期中の電圧の変化(V_{CM})が、パルスバイアス電圧の大きさ(V_p)の1/2以下となるように構成するのが良い。具体的には、下部電極15の表面に設けられた誘電体からなる静電吸着膜の膜厚を薄くしたり、誘電体を誘電率の大きい材料とすることにより、誘電体の静電容量を増す方法がある。

【0056】あるいはまた、他の電圧抑制手段として、パルスバイアス電圧の周期を短くして電圧 V_{CM} の上昇を抑制する方法もある。さらに、静電吸着回路とパルスバイアス電圧印加回路を別な位置、例えば試料が配置保持される電極とは別の対向する電極、あるいは別に設けた第三の電極に、分離して設ける方法も考えられる。

但し、 q : ($T_0 - T_1$) 期間に試料に流入するイオン電流密度(平均値)

c : 単位面積当りの静電吸着容量(平均値)

i_i : イオン電流密度, ϵ_r : 静電吸着膜の比誘電率

d : 静電吸着膜の膜厚 ϵ_0 : 真空中の誘電率(定数)

K : 静電吸着膜の電極被覆率(≤ 1)

図4及び図5に、パルスデューティ比 : (T_1/T_0) は一定のまま T_0 を変化させた時の試料表面の電位波形とイオンエネルギーの確率分布を示す。但し、 T_{01} 、 $T_{02} : T_{03} : T_{04} : T_{05} = 16 : 8 : 4 : 2 : 1$ とする。

【0066】図4の(1)に示す様に、パルス周期 T_0 が大きすぎると、試料表面の電位波形は矩形波から大きくはずれ、三角波になり、イオンエネルギーは図5に示

【0057】次に、本発明における電圧抑制手段によりもたらされるべき、パルスバイアス一周期中の静電吸着膜の両端間に生じる電圧の変化(V_{CM})とパルスバイアス電圧の関係について、図3~図9を用いて詳細に述べる。

【0058】まず、本発明のパルスバイアス電源17において使用する望ましい出力波形の例を図3に示す。図中、パルス振幅 : v_p 、パルス周期 : T_0 、正方向パルス幅 : T_1 とする。

【0059】図3(A)の波形をブロッキングコンデンサ、静電吸着用誘電体層(以下、静電吸着膜と略称する)を経由して試料に印加した時、別の電源によりプラズマを発生させた状態での定常状態での試料表面の電位波形を図3(B)に示す。

【0060】

ただし、波形の直流成分電圧 : V_{DC}

プラズマのフローティングポテンシャル : V_f

静電吸着膜の両端間に生じる電圧の一周期中の最大電圧 : V_{CM}

とする。

【0061】図3(B)中、 V_f より正電圧となっている(I)なる部分は、主に電子電流のみを引き込んでい部分であり、 V_f より負の部分は、イオン電流を引き込んでいる部分、 V_f の部分は、電子とイオンとがつりあっている部分(V_f は通常数V~十数V)である。

【0062】なお、図3(A)および今後の説明では、ブロッキングコンデンサの容量や試料表面近辺の絶縁体による容量は静電吸着膜による容量(以下静電吸着容量と略称する)に比べて十分大きいと仮定している。

【0063】 V_{CM} の値は次の式(数1)で表わされる。

【0064】

【数1】

$$V_{CM} = \frac{q}{c} \frac{i_i \times (T_0 - T_1)}{(\epsilon_r \epsilon_0 / d) \times K}$$

【0065】

すように、低い方から高い方まで一定の分布となり好ましくない。

【0067】図4の(2)~(5)に示す様に、パルス周期 T_0 を小さくするにつれて、(V_{CM}/v_p)は1よりも小さな値となり、イオンエネルギー分布も狭くなってゆく。

【0068】図4、図5において $T_0 = T_{01}$ 、 T_{02} 、 T_{03} 、 T_{04} 、 T_{05} は、(V_{CM}/v_p) = 1, 0.63,

(9)

特開平9-326383

0.31, 0.16, 0.08に対応している。

【0069】次に、パルスのオフ ($T_0 - T_1$) 期間と、静電吸着膜の両端間に生じる電圧の一周期中の最大電圧 V_{CM} の関係を図6に示す。

【0070】静電吸着膜として、厚み0.3mmの酸化チタン含有アルミナ ($\epsilon_r = 10$) を用いて電極の約50%を被膜 ($K = 0.5$) した場合、イオン電流密度 $i_i = 5 \text{ mA/cm}^2$ の中密度プラズマ中での V_{CM} の値の変化を図6の太線 (標準条件の線) で示す。

ゲートエッチングでは $20 \text{ volt} \leq v_p \leq 100 \text{ volt}$

メタルエッチングでは $50 \text{ volt} \leq v_p \leq 200 \text{ volt}$

酸化膜エッチングでは $250 \text{ volt} \leq v_p \leq 800 \text{ volt}$

に制限される。

【0073】後述の (V_{CM}/v_p) ≤ 0.5 の条件を満たそうとすると標準状態では、($T_0 - T_1$) の上限は次のようになる。

【0074】ゲートエッチングでは ($T_0 - T_1$) $\leq 0.15 \mu\text{s}$

メタルエッチングでは ($T_0 - T_1$) $\leq 0.35 \mu\text{s}$

酸化膜エッチングでは ($T_0 - T_1$) $\leq 1.2 \mu\text{s}$

ところで、 T_0 が $0.1 \mu\text{s}$ に近くなると、イオンシースのインピーダンスがプラズマのインピーダンスに近づくかそれ以下となるため、不要なプラズマの発生を生じると共に、バイアス電源がイオンの加速に有効に使われなくなってくる。このため、バイアス電源によるイオンエネルギーの制御性が悪化するため、 T_0 は、 $0.1 \mu\text{s}$ 以上、好ましくは $0.2 \mu\text{s}$ 以上が良い。

【0075】従って、 v_p を低くおさえられるゲートエッチャ等においては、静電吸着膜の材料を比誘電率が10~100と高いもの、(例えば Ta_2O_3 で $\epsilon_r = 25$) に変えたり、絶縁耐圧を低下させず膜厚を薄く、例えば $10 \mu\text{m} \sim 400 \mu\text{m}$ 、望ましくは $10 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ にしたりする必要がある。

【0076】図6には、単位面積当りの静電容量 c を、それぞれ2.5倍、5倍、10倍に増加させた時の V_{CM} の値も併記した。静電吸着膜の改善を行っても現状では静電容量 c を数倍にする改善が限度とみられ、 $V_{CM} \leq 300 \text{ volt}$ 、 $c \leq 10 c_0$ とすると、 $0.1 \mu\text{s} \leq (T_0 - T_1) \leq 10 \mu\text{s}$ となる。

【0077】イオンの加速によりプラズマ処理に有効な部分は ($T_0 - T_1$) の部分であり、パルスデューティ (T_1/T_0) としてはできるだけ小さい方が好ましい。

【0078】時間平均も加味した、プラズマ処理の効率として (V_{DC}/v_p) で見積ったのが、図7である。(T_1/T_0) を小さくし、(V_{DC}/v_p) を大きくするのが好ましい。

【0079】プラズマ処理の効率として $0.5 \leq (V_{DC}/v_p)$ を仮定し、後述の条件、(V_{CM}/v_p) ≤ 0.5 を入れると、パルスデューティは、(T_1/T_0) ≤ 0.4 程度となる。

【0071】図6から明らかなように、パルスのオフ ($T_0 - T_1$) 期間が大きくなるにつれ、静電吸着膜の両端間に生じる電圧 V_{CM} はそれに比例して大きな値となり、通常使用されるパルス電圧 v_p 以上になってしまう。

【0072】例えば、プラズマエッチング装置においては、ダメージ、下地やマスクとの選択性、形状等により通常、

【0080】なお、パルスデューティ (T_1/T_0) は小さいほどイオンエネルギーの制御に有効であるが、必要以上に小さくするとパルス幅 T_1 が $0.05 \mu\text{s}$ 程度の小さい値となり、数十MHzの周波数成分を多く含むようになり、後述するような、プラズマ発生用高周波成分との分離も難しくなる。図7に示すように、 $0 \leq (T_1/T_0) \leq 0.05$ 間での (V_{DC}/v_p) の低下はわずかであり、(T_1/T_0) として 0.05 以上で特に問題は生じない。

【0081】ここで図8に、ゲートエッチングの例として、塩素ガス 10 mT をプラズマ化した時のシリコンと下地の塩化膜とのエッチングレート ESi および ESiO_2 のイオンエネルギー依存性を示す。シリコンのエッチングレート ESi は低イオンエネルギーでは一定値になる。イオンエネルギーが 10 V 程度以上では、イオンエネルギーの増加に従って、 ESi も増加する。一方下地となる酸化膜のエッチングレート ESiO_2 は、イオンエネルギーが 20 V 程度以下では0であり、 20 V 程度を越えると、イオンエネルギーと共に ESiO_2 は増加する。

【0082】その結果、イオンエネルギーが 20 V 程度以下では下地との選択比 ESi/ESiO_2 が ∞ となる領域が存在する。イオンエネルギーが 20 V 程度以上では、下地との選択比 ESi/ESiO_2 は、イオンエネルギーの増加と共に急速に低下する。

【0083】図9は、絶縁膜の一種である酸化膜 (SiO_2 , BPSG , HISO 等) のエッチングの例として、 C_4F_8 ガス 10 mT をプラズマ化した時の、酸化膜とシリコンとのエッチングレート ESiO_2 および、 ESi のイオンエネルギー分布を示すものである。

【0084】酸化膜のエッチングレート ESiO_2 は、低イオンエネルギーでは負の値となり、デポを生じる。イオンエネルギーが 400 V 付近にて ESiO_2 が急速に正に立ち上がり、その後は、徐々に増加する。一方下地となるシリコンのエッチングレート ESi は、 ESiO_2 よりイオンエネルギーの高い所で (-) (エッチング) から (+) (エッチング) となり徐々に増加する。

【0085】この結果、 ESiO_2 が (-) から (+) に変

(10)

特開平9-326383

化する付近にて、下地との選択比 $ESiO_2/ESi$ が ∞ となり、それ以上で $ESiO_2/ESi$ はイオンエネルギーの増加と共に急速に低下する。

【0086】図8、図9で、実際のプロセスへの適用に対しては、 ESi や $ESiO_2$ の値や、 $ESi/ESiO_2$ や、 $ESiO_2/ESi$ の値の大きさを考慮して、バイアス電源を調整してイオンエネルギーを適正值にする。

【0087】また、ジャストエッチング（下地膜が現われるまでのエッチング）まではエッチングレートの大きさを優先し、ジャストエッチ後は選択比の大きさを優先してイオンエネルギーをジャストエッチの前後に変更すれば、更に良い特性が得られる。多層膜をエッチングするとき場合等においては、ジャストエッチング迄においてもイオンエネルギー値を変化させ各タイミングにおいて最適値に設定すれば、特性の改善がはかれる。

【0088】ところで図8、図9に示した特性は、イオンのエネルギー分布が狭い部分に限定された時の特性である。イオンのエネルギー分布が広い場合の各エッチングレートはその時間平均値となるため、最適値に設定することが出来ず、選択比は大幅に低下してしまう。

【0089】実験によると、 (V_{DC}/V_p) は0.3以下程度であれば、イオンエネルギーの広がり $\pm 15\%$ 程度以下となり、図8や図9の特性でも高い選択比が得られた。また、 $(V_{DC}/V_p) \leq 0.5$ であれば、従来の正弦波バイアス法に比べて選択比等の改善が図れた。

【0090】このように、静電吸着膜の両端間に生じるパルス電圧の一周期中の電圧変化 (V_{CM}) を抑える電圧抑制手段として、 V_{CM} が、パルスバイアス電圧の大きさ V_p の $1/2$ 以下となるように構成するのが良く、具体的には、下部電極15の表面に設けられた誘電体の静電チャック膜22の膜厚を薄くしたり、誘電体を誘電率の大きい材料とすることにより、誘電体の容量を増すことができる。あるいは、パルスバイアス電圧の周期を、 $0.1\mu s \sim 10\mu s$ 、好ましくは $0.2\mu s \sim 5\mu s$ （繰り返し周波数： $0.2MHz \sim 5MHz$ に対応）と短くし、パルスデューティ (T_1/T_0) を、 $0.05 \leq (T_1/T_0) \leq 0.4$ として静電吸着膜の両端の電圧変化を抑制する。

【0091】あるいはまた、上記誘電体の静電吸着膜の膜厚と、誘電体の比誘電率及びパルスバイアス電圧の周期の幾つかを組み合わせ、静電吸着膜の両端間に生じる電圧 V_{CM} の変化が上記した $(V_{CM}/V_p) \leq 0.5$ の条件を満たすようにしても良い。

【0092】次に、図2の真空処理室を、酸化膜膜（例えば SiO_2 、 SiN 、 $BPSG$ 等）のエッチングに用いた他の実施例について述べる。

【0093】ガス19としては、 C_4F_8 ：1～5%， Ar ：90～95%， O_2 ：0～5%もしくは、 C_4F_8 ：1～5%， Ar ：70～90%，

O_2 ：0～5%， CO ：10～20%，の組成のものをを用いる。プラズマ発生用高周波電源16としては、従来よりも高い周波数、例えば40MHzのものをを用い、10mTorr～30mTorrの低ガス圧領域での放電の安定化を計る。

【0094】また、プラズマ源用高周波電源の変調周期は、通常、パルスバイアスの周期に比べ長くなる。そこで、プラズマ源用高周波電源の変調周期をパルスバイアスの周期の整数倍にし、2つの間の位相を最適化することにより、選択比の改善ができた。

【0095】一方、パルスバイアス電圧の印加によって、プラズマ中のイオンを試料に加速、垂直入射させることにより、イオンエネルギーの制御を行う。パルスバイアス電源17として、例えば、パルス周期： $T=0.65\mu s$ 、パルス幅： $T_1=0.15\mu s$ 、パルス振幅： $V_p=600V$ の電源を用いることにより、イオンエネルギーの分布幅は $\pm 15\%$ 以下になり、下地の Si や SiN との選択比として20～50の特性の良いプラズマ処理が可能になった。

【0096】次に、図10により本発明の他の実施例を説明する。この実施例は、図2に示した平行平板電極型のプラズマエッチング装置と同様な構成であるが、試料40を保持する下部電極15は、単極式の静電チャック20を備えた構成となっている。すなわち、下部電極15の上表面に静電吸着用誘電体層22が設けられ、下部電極15には、高周波成分カット用のコイル24を介して直流電源23のプラス側が接続されている。また、20V～800Vの正のパルスバイアスを供給するパルスバイアス電源17が、ブロッキングコンデンサ19を介して接続されている。

【0097】処理の対象物である試料40は、下部電極15の上に載置され、静電チャック20、すなわち直流電源23による正電荷とプラズマから供給される負電荷により静電吸着膜22の両端間に生じるクーロン力により吸着される。

【0098】この装置の作用は、図2に示した平行平板電極型のプラズマエッチング装置と同様であり、エッチング処理を行う場合、処理を行なうべき試料40を試料台15に載置し、静電力で保持し、ガス供給系36から処理室10に処理ガスを所定の流量で導入しながら、他方真空ポンプ18により真空排気することにより、処理室10の圧力を試料の処理圧力、5mTorr～50mTorrに減圧排気する。次に、10MHz～500MHz、好ましくは30MHz～200MHzの高周波電源16の出力は高周波電源変調信号源161によりレベル変調し、平行平板電極12、15間に印加してプラズマを発生させる。一方、下部電極15に、パルスバイアス電源17から20V～800V、周期が $0.1\mu s \sim 10\mu s$ 好ましくは $0.2\mu s \sim 5\mu s$ の正のパルスバイアス電圧を印加し、処理室10内のプラズマを制御して試料40にエッチン

(11)

特開平9-326383

グ処理を行う。

【0099】高周波電源16は、高周波電源変調信号源161により、パルス幅1〜50 μ s、パルス周期40 μ s〜10ms、パルスデューティ比（パルス幅／パルス周期）として1／5〜1／50でパルス変調されており、パルス幅部分の瞬時電力をその他のタイミング部分の瞬時電力の2倍〜100倍の強さで加え、パルス幅の部分で準安定原子を効率良く生成させる。一方前記のその他のタイミング部分では、前記準安定原子の存在のもとに比較的低い瞬時電力の高周波電力を印加し電離の促進を図り高密度のプラズマを得るとともに、15eV以上の高いエネルギーの電子の生成を押さえて処理ガスの過剰解離を阻止し、プラズマ処理に望ましい比較的低い10eV程度以下の電子エネルギーでの解離を促進させる。その結果イオンとラジカルの量と質を所望の値に制御することが出来る。また、パルスバイアス電圧の印加によって、プラズマ中のイオンもしくはイオン及び電子を試料に加速、垂直入射させることにより、高精度の形状制御あるいは選択比制御を行う。高周波電源16、高周波電源変調信号源161、パルスバイアス電源17及び静電吸着膜22に必要な特性は図2の実施例と

$$\begin{aligned} T_1 = 0.2 \mu s \text{ とすると } 3f_0 &= 3 \cdot \frac{10^6}{0.2} = 15 \text{ MHz} \\ T_1 = 0.1 \mu s \quad \# \quad 3f_0 &= 30 \text{ MHz} \end{aligned}$$

【0104】図2に示した平行平板電極プラズマエッチング装置に関して、上記パルスバイアス電源出力とプラズマ発生用電源出力との干渉の対策を行った実施例を図12に示す。この平行平板電極プラズマエッチング装置において、試料40と対向する上部電極12には、プラズマ発生用高周波電源16が接続される。この上部電極12をパルスバイアスの接地レベルにするには、プラズマ発生用高周波電源16の周波数 f_1 を上記の $3f_0$ より大きくし、かつ、 $f \leq f_1$ 付近でのインピーダンスが大きく、他の周波数ではインピーダンスが低い、バンドエリミネータ141を上部電極12と接試レベルとの間に接続する。

【0105】一方、 $f = f_1$ 付近でのインピーダンスが低く、他の周波数はインピーダンスが高いバンドパスフィルタ142を、試料台15と接地レベル間に設置する。このような構成を用いれば、パルスバイアス電源17の出力とプラズマ発生用電源16出力との間の干渉を、問題のないレベルに抑え、試料40に良好なバイアスを加えることができる。

【0106】図13は本発明を、外部エネルギー供給放電方式のうち、誘導結合型放電方式でかつ、無磁場タイプのプラズマエッチング装置へ適用した例である。52は平面コイル、54は平面コイルに10MHz〜250MHzの高周波電圧を印加する高周波電源であり、高周波電源変調信号源161により、パルス幅1〜50 μ s、パ

同様であり、詳細は省略する。

【0100】以上述べた本発明の他の実施例において、パルスバイアス電源の出力とプラズマ発生用電源の出力との間に干渉が生ずる可能性も考えられる。そこで、以下、この対策についてのべる。

【0101】まず、パルス幅： T_1 、パルス周期： T_0 で無限大の立上り／立下り速度をもつ理想的な矩形パルスにおいては、図11に示す様に、 $f \leq 3f_0$ ($f_0 = (1/T_1)$) の周波数範囲に70〜80％程度の電力が含まれる。実際に印加される波形は、立上り／立下り速度が有限となるため、電力の収束性は更に改善され、 $f \leq 3f_0$ の周波数範囲に90％程度以上の電力が含まれる様にできる。

【0102】 $3f_0$ なる高い周波数成分をもつパルスバイアスを試料面内に均一に印加される様にするためには、試料にはほぼ平行な対向電極を設け、次式数2で求まる $3f_0$ に対して、 $f \leq 3f_0$ なる範囲の周波数成分を接地することが望ましい。

【0103】

【数2】

ルス周期20 μ s〜10ms、パルスデューティ比（パルス幅／パルス周期）として1／3〜1／50でパルス変調されており、パルス幅部分の瞬時電力をその他のタイミング部分の瞬時電力の2倍〜100倍の強さで加え、パルス幅の部分で準安定原子を効率良く生成させる。一方前記のその他のタイミング部分では、前記準安定原子の存在のもとに比較的低い瞬時電力の高周波電力を印加し電離の促進を図り高密度のプラズマを得るとともに、15eV以上の高いエネルギーの電子の生成を押さえて処理ガスの過剰解離を阻止し、プラズマ処理に望ましい比較的低い10eV程度以下の電子エネルギーでの解離を促進させる。その結果イオンとラジカルの量と質を所望の値に制御することが出来る。。

【0107】誘導結合型放電方式は図10に示した平行平板型に比べ、低い周波数でかつ低圧での安定なプラズマ発生が可能になる。真空容器としての処理室10は、静電吸着膜22の上に試料40が載置される試料台15を備えている。

【0108】エッチング処理を行う場合、処理を行なうべき試料40を試料台15に載置し、静電力で保持し、ガス供給系（図示せず）から処理室10に処理ガスを所定の流量で導入しながら、他方真空ポンプにより真空排気することにより、処理室10の圧力を5mTorr〜50mTorrに減圧排気する。次に、高周波電源54よりレベル変調された13.56MHzの高周波電圧出力し処理室1

(12)

特開平9-326383

0にプラズマを発生させる。このプラズマを用いて試料40をエッチング処理する。他方、エッチング時には、下部電極15に、周期が $0.1\mu\text{s}$ ~ $10\mu\text{s}$ 好ましくは $0.2\mu\text{s}$ ~ $5\mu\text{s}$ のパルスバイアス電圧を印加する。パルスバイアス電圧の振幅は、膜種により範囲が異なることは図2の実施例で述べたとおりである。このパルスバイアス電圧の印加によって、プラズマ中のイオンを試料に加速、垂直入射させることにより、高精度の形状制御あるいは選択比制御を行う。これにより、試料のレジストマスクパターンが極微細なものであっても、高精度のエッチング処理を行うことができる。

【0109】図14は、図13に示した誘導結合型放電方式無磁場タイプのプラズマエッチング装置において、誘導電高周波出力の処理室側10に、隙間55を有するファラデーシールド板53と、 0.5mm ~ 5mm の薄いシールド板保護用絶縁板54を設置しており、そのファラデーシールド板53を接地する。ファラデーシールド板53の設置によって、コイルとプラズマ間の容量成分が少なくなり、図13におけるコイル52下の石英板や図14のシールド板保護用絶縁板54を叩くイオンのエネルギーを低下することが出来、石英板や絶縁板の損傷を少なくすると共に、プラズマ中への異物の混入を防ぐことが出来る。

【0110】また、ファラデーシールド板53は、パルスバイアス電源17の接地電極の役目も兼ねるため、試料40とファラデーシールド板53との間に均一にパルスバイアスを印加することが出来る。図14の例では、平行平板型の上部電極や試料台15に設置するフィルタは不要である。

【0111】次に、図15に示した本発明の他の実施例により、従来の欠点を改善し、イオンとラジカル生成の量と質を制御し、極微細なプラズマ処理を可能とするプラズマエッチング装置の他の実施例について述べる。

【0112】すなわち、試料を設置している真空処理室の上流側で真空処理室とは別の場所に第一のプラズマ生成を行う場所を設定し、そこで生成した準安定原子を真空処理室に注入し、真空処理室にて第二のプラズマを生成する構成としている。図2に示した平行平板プラズマエッチング装置に加えて、イオン・ラジカル源用ガス供給部60と、準安定原子発生用プラズマ発生室62を備えている。また上部電極12には、準安定原子を含むガスを真空処理室に導入するルートのほか、イオン・ラジカル源用ガス供給部に繋がっている導入ルートを設けている。

【0113】この実施例の特徴は、次の通りである。

【0114】① 準安定原子発生用ガス供給部36から供給されたガスを準安定原子発生用プラズマ発生室62にて高周波電力を印加してプラズマ化し、あらかじめ所望の準安定原子を所望量発生させ処理室10に流入させる。準安定原子発生用プラズマ発生室62は、効率良く

準安定原子を発生させるために、室内の圧力は、数百mTorr~数十Torrの高い圧力に設定する。

【0115】② 他方、イオン・ラジカル源用ガス供給部60からのガスを処理室10に流入させる。

【0116】③ プラズマ発生用電源16で比較的低電力の高周波を出力し、処理室10にプラズマを発生させる。準安定原子の注入により、 5eV 程度以下の低エネルギーの電子でもイオンを効率良く生成させることができるため、低電子温度(6eV 程度以下、好ましくは 4eV 程度以下)で、かつ 15eV 程度以上の高エネルギー電子が大幅に少ないプラズマが得られる。このため、ラジカル源用ガスは過剰な解離を生じさせることなく、必要な量と質を確保出来る。一方イオンの量は、準安定原子発生用プラズマ発生室62にて発生する準安定原子の量と、イオン・ラジカル源用ガス供給部60からのイオン源用ガスにて制御することができる。

【0117】このようにしてイオンとラジカル生成の質や量を制御できる様になるため、極微細なプラズマ処理においても良好な性能が得られる。ラジカル源用ガスとしては、 CHF_3 、 CH_2F_2 、 C_4F_8 あるいは CF_4 などのフルオロカーボンガスに、必要に応じてC、Hを含むガス(C_2H_4 、 CH_4 、 CH_3OH など)を混ぜてもちいる。準安定原子発生用ガスとしては、1種類ないしは2種類の希ガスをベースにしたものを用いる。イオン源用ガスとしては、下記の性質を持つ希ガス等を用いることにより、効率良くイオンを生成できる。

【0118】前記準安定原子のエネルギー準位に対し、イオン源用ガスの電離準位が低いもの。もしくは、イオン源用ガスの電離準位の方が高いが、その差が小さい(5eV 程度以下)ものが用いられる。

【0119】尚、性能的には低下するがイオン源用ガスとして特に追加せず、上記準安定原子発生用ガスやラジカル源用ガスで代用することもできる。

【0120】次に、図16にイオンとラジカル生成の質や量を制御する本発明の他の実施例を示す。図15と基本的考えは、同じであるが、図15において、準安定原子発生用プラズマ室62と真空処理室10との間の距離が長く、この間での準安定原子の減衰が大きい場合の対策として実施する例である。41はマイクロ波の発振源としてのマグネトロン、42はマイクロ波の導波管であり、43は第一のプラズマ生成室45を真空封じして、マイクロ波を通過させるための石英板であり、44はガス分散用の石英板である。第一のプラズマ生成室45では、数 100mTorr から数 10Torr のガス圧で前記マイクロ波によりプラズマを発生させ、準安定原子を発生させる。図16では、図15に比較し準安定原子の発生場所と真空処理室間の距離を短く出来るため、高い密度で準安定原子を真空処理室に注入することができ、真空処理室10におけるイオンの量を増加できる。処理室10は $5\sim 50\text{mTorr}$ の圧力に保ち、 20MHz

(13)

特開平9-326383

z以上の高周波電源16により、5 eV好ましくは3 eV以下で10の10乗から11乗台/cm³の高密度低電子温度プラズマを発生させ、解離エネルギーとして8 eV以上を必要とするCF₂の解離を避けつつ、イオン源用ガスの電離を進行させる。この結果、試料40の表面上では、バイアス電源17により数100 Vで加速されたイオンの入射でアシストされた下記反応が主に進行する。

【0121】

$\text{SiO}_2 + 2\text{CF}_2 \rightarrow \text{SiF}_4 \uparrow + 2\text{CO} \uparrow$
 なお、下地材料となるSiやSiNは、CF₂ではエッチングされないため、高選択比の酸化膜エッチングが可能となった。

【0122】また、CF₂の一部解離によるFの増加は、シリコン、カーボンもしくはSiC等からなる上部電極カバー30により減少させている。

【0123】上で述べたように、ラジカル源用ガスとイオン源用ガスとを調節することにより、処理室10内でのイオンとラジカルとの比率をほぼ独立に制御でき、試料40の表面での反応を所望のものにコントロールすることが容易になった。

【0124】本発明の、静電吸着回路とパルスバイアス電圧印加回路を備えたプラズマ処理装置は、エッチングガスに代えてCVDガスを導入する等の変更を加えることにより、以上述べたエッチング処理に限らずCVD装置等のプラズマ処理装置にも適用できる。

【0125】

【発明の効果】本発明によれば、イオンとラジカル生成の質や量を制御できるため、被処理物に適した処理条件を構築出来る。

【0126】また本発明のバイアスを印加することにより、被処理物に入射するイオンにたいし、そのエネルギー分布が狭い状態で制御性良くイオンを加速でき、プラズマ処理の選択性と処理速度等を向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することができる。

【0127】また、静電吸着用誘電体層を有する試料台を使用する場合において、イオンとラジカル生成の量や質を制御し、制御性良く狭いイオンエネルギー分布を得るとともに、被処理物の温度を所定温度に制御し表面反応の均一化高性能化が得られ、プラズマ処理の選択性と処理速度等を向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することができる。

【0128】また、イオンとラジカル生成の量や質を制御することにより、プラズマ処理装置の処理室内の圧力を低くして、微細パターンの精密な加工が容易で、また、微細加工時の選択比等も向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することができる。

【0129】また、イオンとラジカル生成の量や質を制御することにより、試料中の絶縁膜（例えばSiO₂, SiN, BPSG等）に対するプラズマ処理の選択性等

を、処理速度を低下することなく、向上させたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】電子エネルギー分布の違いを説明する図である。

【図2】本発明の一実施例になる平行平板電極型のプラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図3】本発明のパルスバイアス電源において使用する望ましい出力波形の例を示す図である。

【図4】パルスデューティ比： (T_1/T_0) は一定のまま T_0 を変化させた時の試料表面の電位波形とイオンエネルギーの確率分布を示す図である。

【図5】パルスデューティ比を一定のまま、 T_0 を変化させた時の試料表面の電位波形とイオンエネルギーの確率分布を示す図である。

【図6】パルスのオフ $(T_0 - T_1)$ 期間と、静電吸着膜の両端間に生じる電圧の一周期中の最大電圧 V_{CM} の関係を示す図である。

【図7】パルスデューティ比と (V_{DC}/V_p) の関係を示す図である。

【図8】塩素ガス5 mTをプラズマ化した時のシリコンと塩化膜とのエッチングレートESiおよびESiO₂のイオンエネルギー依存性を示す図である。

【図9】酸化膜のエッチングの例としてCF₄ガス5 mTをプラズマ化した時の、酸化膜とシリコンとのエッチングレートESiO₂および、ESiのイオンエネルギー分布を示す図である。

【図10】本発明の他の実施例になる平行平板電極型のプラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図11】パルスバイアス電源の周波数と累積電力の関係を示した図である。

【図12】図1に示した平行平板電極プラズマエッチング装置を改良した他の実施例の縦断面図である。

【図13】本発明を、外部エネルギー供給放電方式のうち、誘導結合型放電方式でかつ、無磁場タイプのプラズマエッチング装置へ適用した例の縦断面図である。

【図14】本発明の他の実施例になる、プラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図15】本発明の他の実施例になる、平行平板プラズマエッチング装置の縦断面図である。

【図16】本発明をマイクロ波+平行平板プラズマ処理装置に適用した装置の一部を縦断面した正面図である。

【符号の説明】

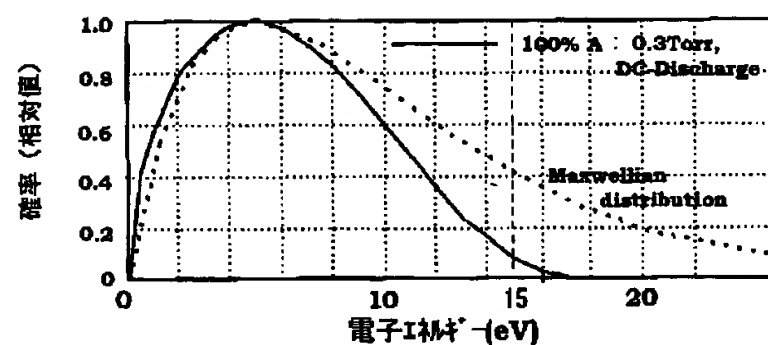
10…処理室、12…上部電極、15…下部電極、16…高周波電源、17…パルスバイアス電源、20…静電チャック、22…静電吸着膜、23…直流電源、40…試料、41…マイクロ波発振源、42…導波管、43…石英板、44…ガス分散用の石英板、45…第一のプラズマ生成室、161…高周波電源変調信号源。

(14)

特開平9-326383

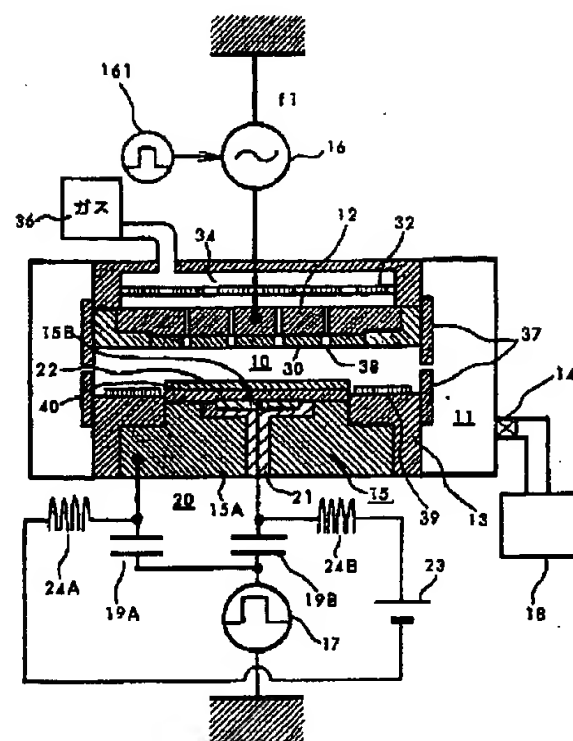
【図1】

図 1



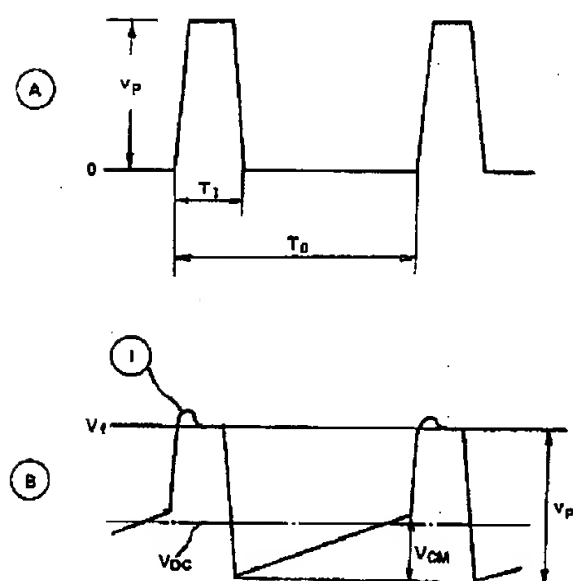
【図2】

図 2



【図3】

図 3

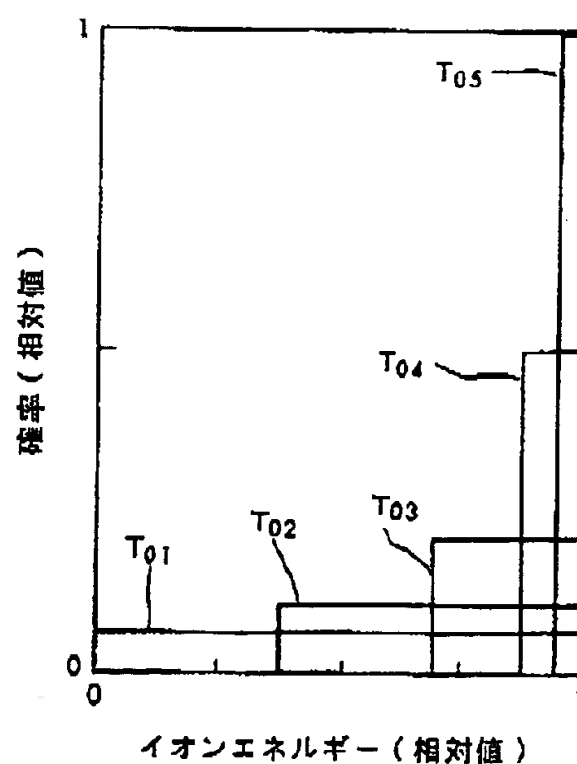


$$V_{CM} = \frac{q}{c} = \frac{I_1 \cdot (T_0 - T_1)}{(e_r \epsilon_0 / d) \times K}$$

I_1 : イオン電流密度
 ϵ_r : 静電誘導率の比誘電率
 d : 静電誘導率の厚さ
 K : 静電誘導率の電荷比電率

【図5】

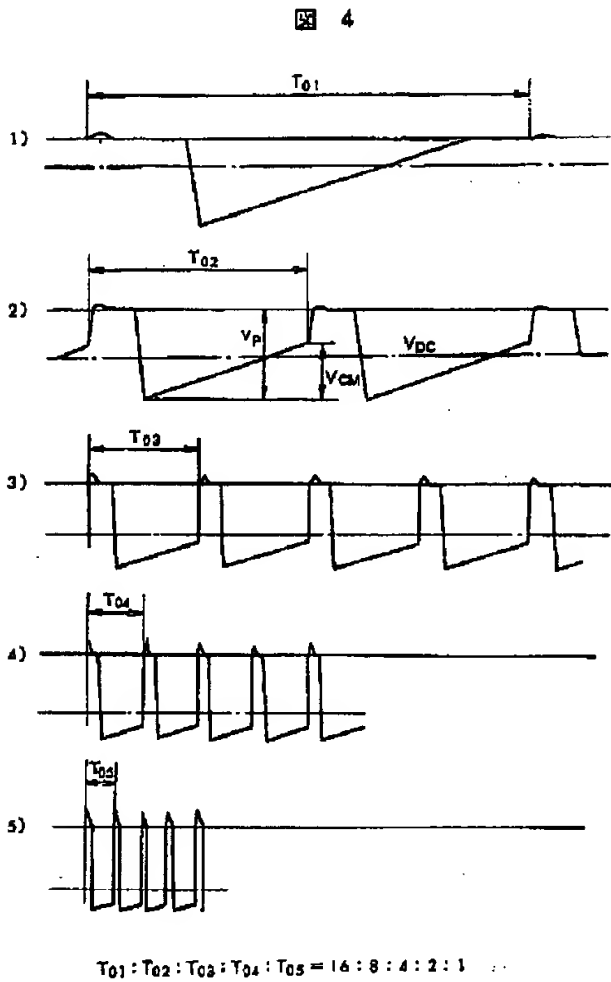
図 5



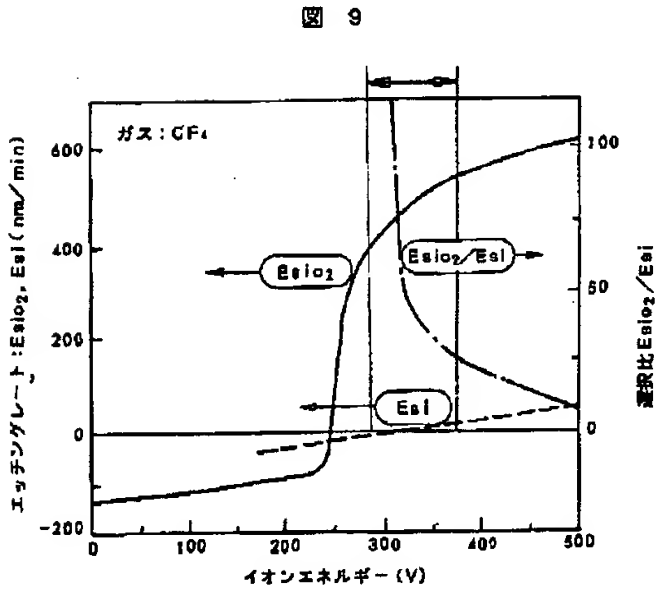
(15)

特開平9-326383

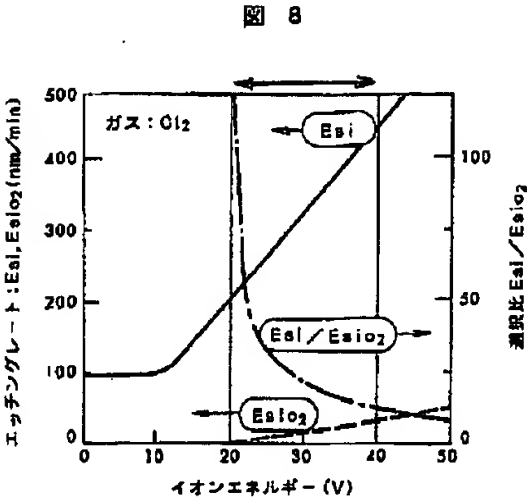
【図4】



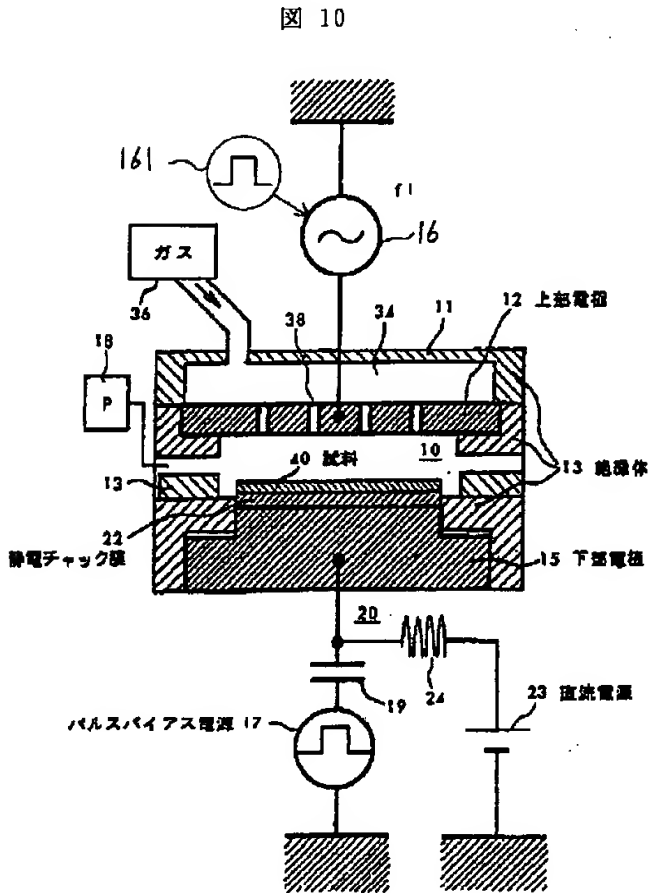
【図9】



【図8】



【図10】

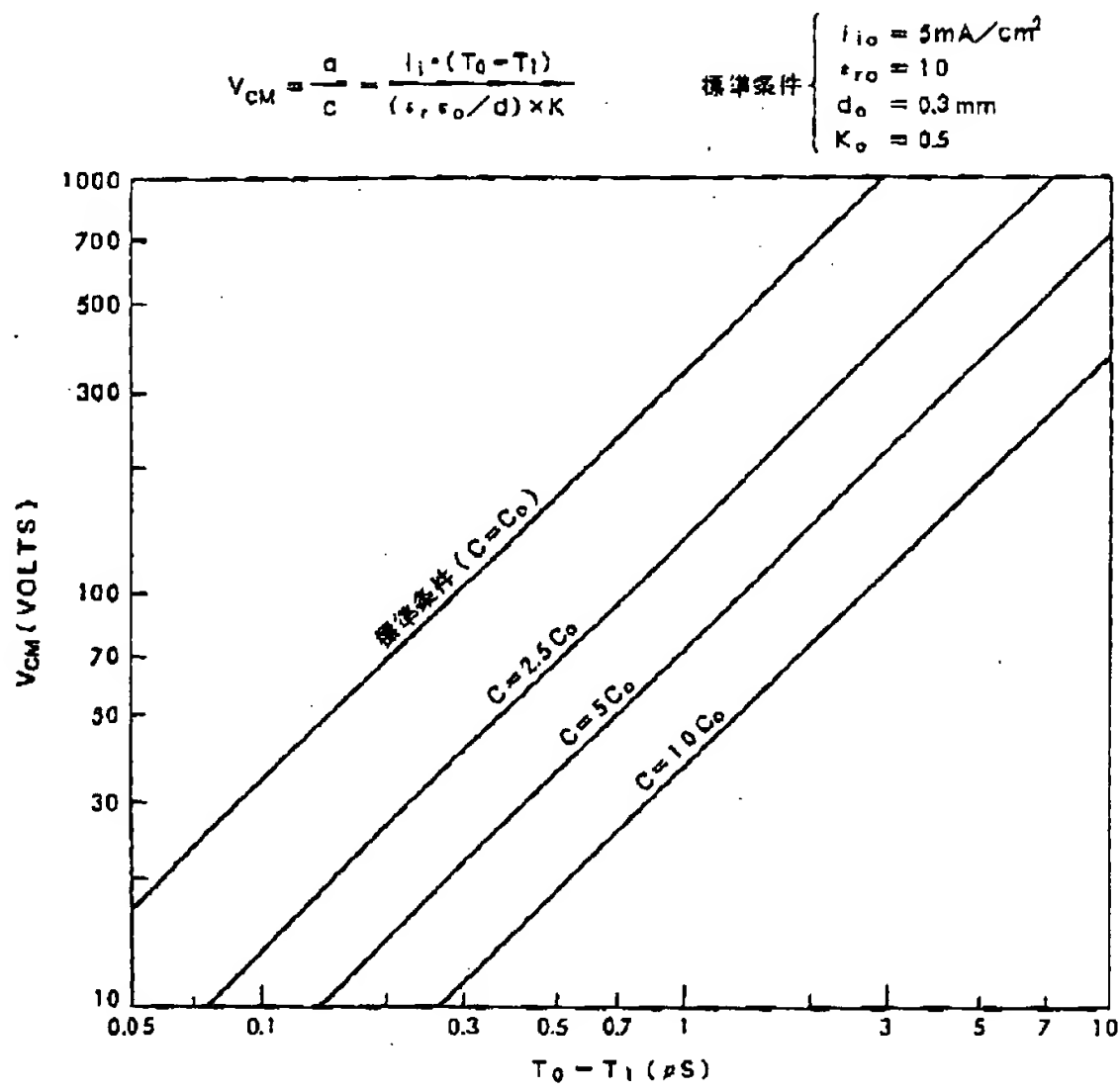


(16)

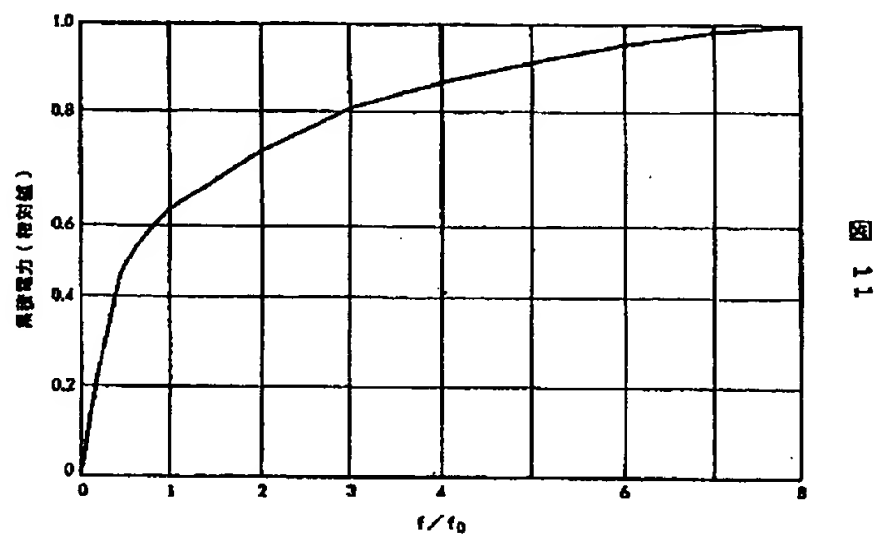
特開平9-326383

【図6】

図 6



【図11】

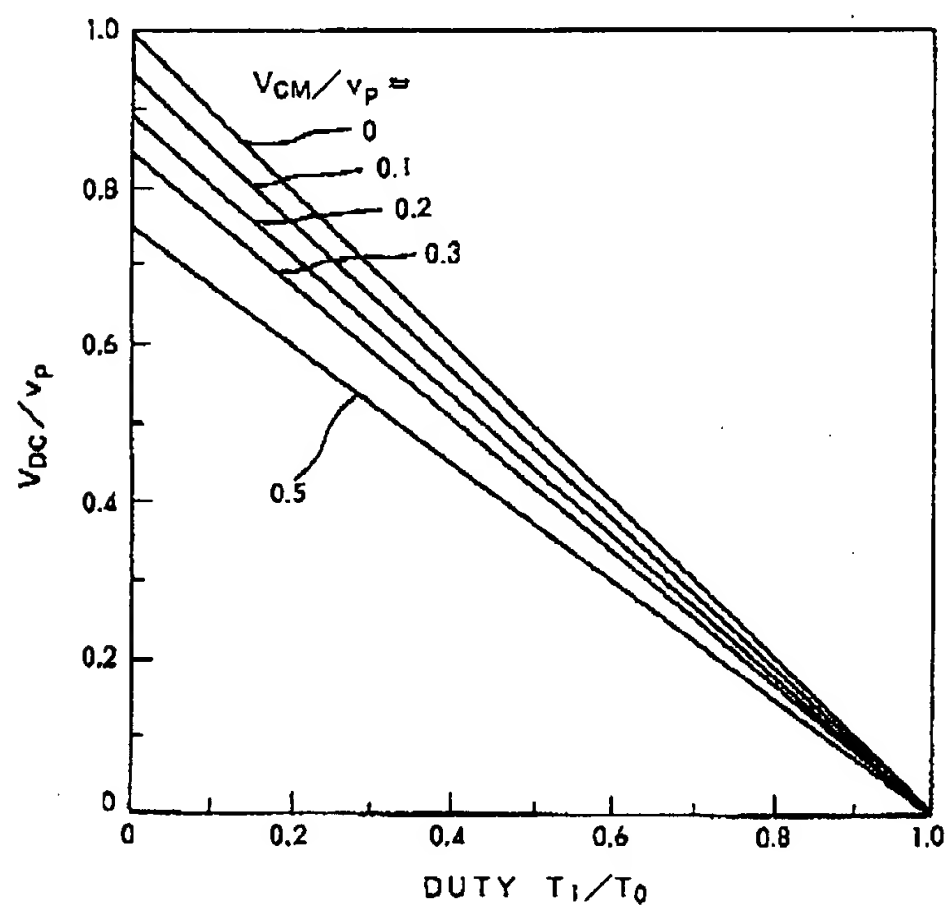


(17)

特開平9-326383

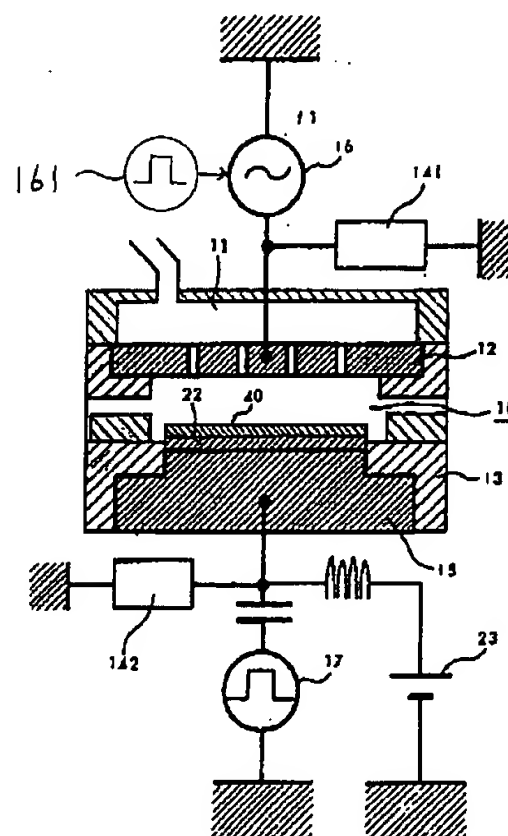
【図7】

図 7



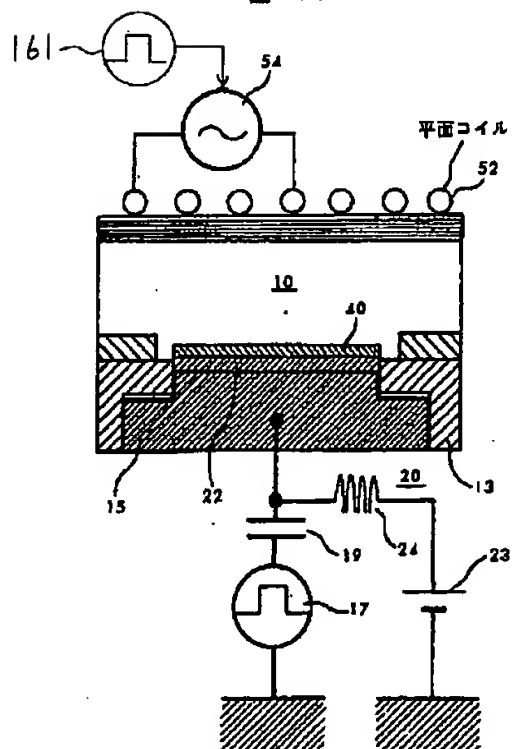
【図12】

図 12



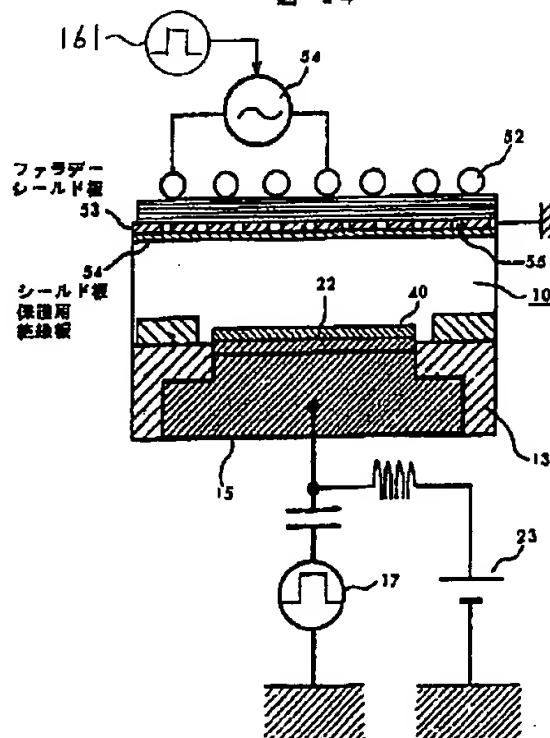
【図13】

図 13



【図14】

図 14

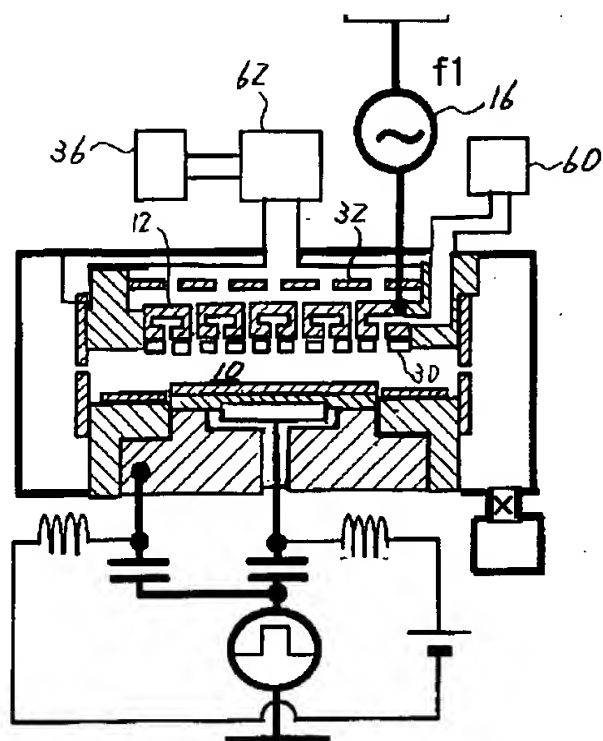


(18)

特開平9-326383

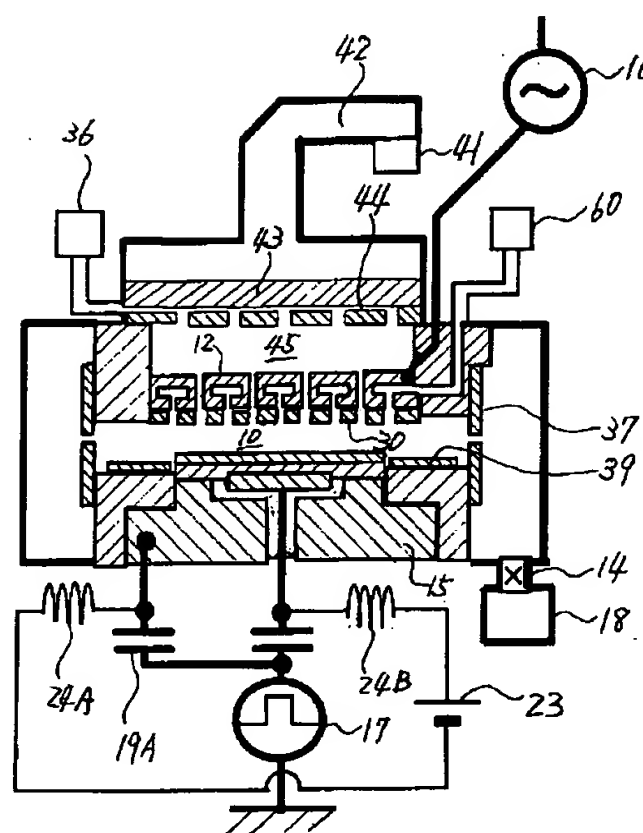
【図15】

図 15



【図16】

図 16



フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 克哉
 山口県下松市大字東豊井794番地 株式会
 社日立製作所笠戸工場内